

## 自動設計モデルと連動した3次元シミュレーション技術開発の取り組みについて

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○菊池 将人・飛岡 啓之・堂ノ脇 将光・田中 真子  
 ダッソー・システムズ株式会社 川合 良典・岩森 大地

## 1. はじめに

国内では BIM/CIM モデル導入による業務効率化・高度化が推進されている。しかし、砂防堰堤設計における BIM/CIM モデル作成の多くは 2 次元図面から 3 次元モデルを作成するため、多くの労力を費やすことが大きな課題である。この解決策の一つとして、図 1 に示すように、堰堤位置や堤高などの諸元を数値入力することで基準に基づいた設計を自動で行い 3 次元モデルを作成することを報告している（自動設計モデル）<sup>1)</sup>。自動設計モデルはパラメトリック設計で多くのトライアルを行える利点がある。

また、土木分野での BIM/CIM モデルの活用として、走行シミュレーションや温度応力解析など、3 次元でのシミュレーションを実施し検討・評価する事例がある。一方水や土砂、流木などを扱う砂防分野では、BIM/CIM モデルを活用しシミュレーションでの施設評価を行った事例をほとんど確認することができない。これは、地形が複雑かつ広大で、対象現象が複雑な物理現象を示すためだと考えられる。3 次元でシミュレーションができるソフトウェアは流通しているが、BIM/CIM モデルとの互換性は現時点でないため、BIM/CIM モデルを活用しシミュレーション

を行う場合には、シミュレーションを行うための 3 次元データを作成する必要があり、多くの労力を必要とする。

以上を踏まえ、BIM/CIM モデルを活用した効率的な 3 次元シミュレーションを目的に、自動設計モデルと連動した 3 次元シミュレーション技術開発の取り組みを行っている。双方を連動させることで、シミュレーション実施するために必要なデータ作成を効率化させることが期待できる。また、自動設計モデルで可能な施工性や経済性の観点での最適な構造物検討に加え、BIM/CIM 空間上でシミュレーションをできることで、施設機能や施設効果など様々な検討・評価が可能になることが期待できる。

本稿ではこの取り組みについて報告する。

## 2. 3次元シミュレーションの目的

## 2.1. 格子ボルツマン法を用いた土石流の再現計算

使用したソフトウェアは、自動設計モデルを作成できるソフトウェアとしてダッソー・システムズ(株)が提供する「CATIA 3DEXPERIENCE」を使用し、BIM/CIM モデルを作成した。3 次元シミュレーションは同社が提供する流体解析ソフトウェアである「XFlow」を活用した。この「XFlow」は流体力学分野等で使用されることが多い「格子ボルツマン法」を物理モデルとしており、砂防分野での実績は確認できなかった。このため、まず「XFlow」で土石流の再現をすることを目的に検証を行った。

土石流の再現に関しては、片山ら(2016)で実施した模型実験の結果を参考に、土石流として土砂だけでなく巨礫と流木も一緒に流下し、これらを砂防施設(不透過型、透過型)が捕捉する現象を想定した<sup>2)</sup>。3 次元シミュレーションを行うため作成した BIM/CIM モデルを図 2 に示す。

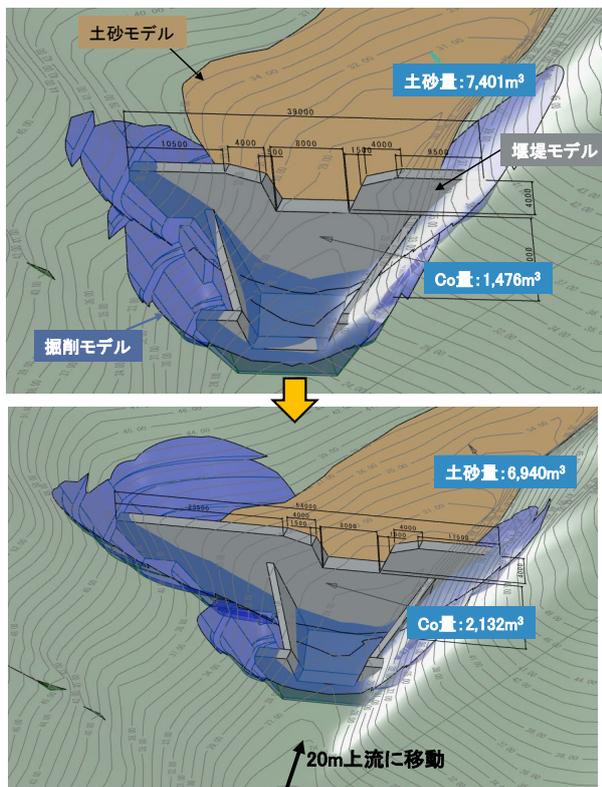


図 1 掘削モデルを含めた自動設計モデルの例

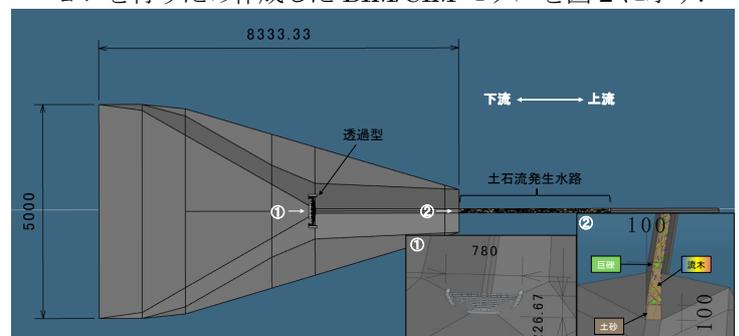


図 2 3次元シミュレーションのため作成した BIM/CIM モデル(単位 mm)

## 2.2. シミュレーション時間の設定

土石流を対象とした 3 次元シミュレーションに関して、

福田ら(2020)は流木の変形と破壊を考慮し、礫を 0.4m～1.2m の粒子群とした APM 法で土石流捕捉効果の検証を行っている<sup>3)</sup>。この検証では一回の解析にスパコンで1ヵ月以上要したことを報告しており、3次元シミュレーションには多大な時間を必要なことを確認することができる。

本開発は、自動設計モデルと連動し試行的に3次元シミュレーションを実施することを目的としているため、できる限り時間を条件(検討時点では目標を1日としていた)で3次元シミュレーションを実施するものとした。

### 3. 3次元シミュレーションの条件

本検証での主なシミュレーションの計算条件を表1に示す。計算条件について、土砂量や解析時間等に関しては片山ら(2016)で実施した模型実験での実験条件を参考に決定した。「XFlow」でシミュレーションを実施するにあたり、条件設定した内容を下記に示す。

- ① 「XFlow」が2相しかできなかつたため、土砂を細砂と水が既に混ざっている流体として計算を行っ

表1 3次元シミュレーションの計算条件

項目	数値	備考
縮尺	S=1/30	模型実験を参考
流れ	混相流(空気/土砂の2相)	
解析時間	11s	模型実験を参考
格子	サイズ	最大25.0mm 最小12.5mm
	数	約20万
土砂	量	37L
	粘性	1.0 Pa・S
巨礫	粒形	平均3.4cm
	密度	2,600kg/m <sup>3</sup>
	個数	20個
流木	樹高	6.7/12.0/16.0cm
	胸高直径	2.0/5.0/9.0mm
	密度	340kg/m <sup>3</sup>
	総本数	110本

た。これに伴い、土砂の粘性は1.0Pa・Sと仮定

- ② 巨礫・流木は剛体とした

### 4. 3次元シミュレーションの結果

3次元シミュレーション結果を図3に示すように、不透過型、透過型の施設構造の違いで、土石流を捕捉する現象の差異を確認することができ、BIM/CIMモデルと3次元シミュレーションの連動が可能であることがわかった。各シミュレーションの解析時間は約30時間程度であった。

### 5. 今後の展望

今回はBIM/CIMモデルと3次元シミュレーションの連動が可能かどうか検証を行うため、単純形状の地形モデルで検証を実施した。今後は対外的な説明資料として活用できるよう、実地形の地形モデルで3次元シミュレーションを実施し、説明資料としての効率化・高度化に取り組んでいく予定である。

また、3次元シミュレーションでは荷重や応力等も時系列的に評価することが可能であり、BIM/CIMを活用し応力解析や構造解析を踏まえた構造・施設検討にも取り組んでいく予定である。さらに、水理模型実験での試解析への活用にも取り組んでいく予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 菊池ら(2021):砂防堰堤の自動設計モデルの開発について、令和3年度建設コンサルタント業務研究発表会
- 2) 片山ら(2016):小規模溪流に適用できる減災施設の効果に関する実験的研究、平成28年度砂防学会研究発表会概要集
- 3) 福田ら(2020):凸型の鋼製フレームを持つ砂防堰堤による流木を含む高精度数値解析法を用いた土石流捕捉効果の検討、土木学会論文集B1(水工学)Vol.76, No.2,2020.

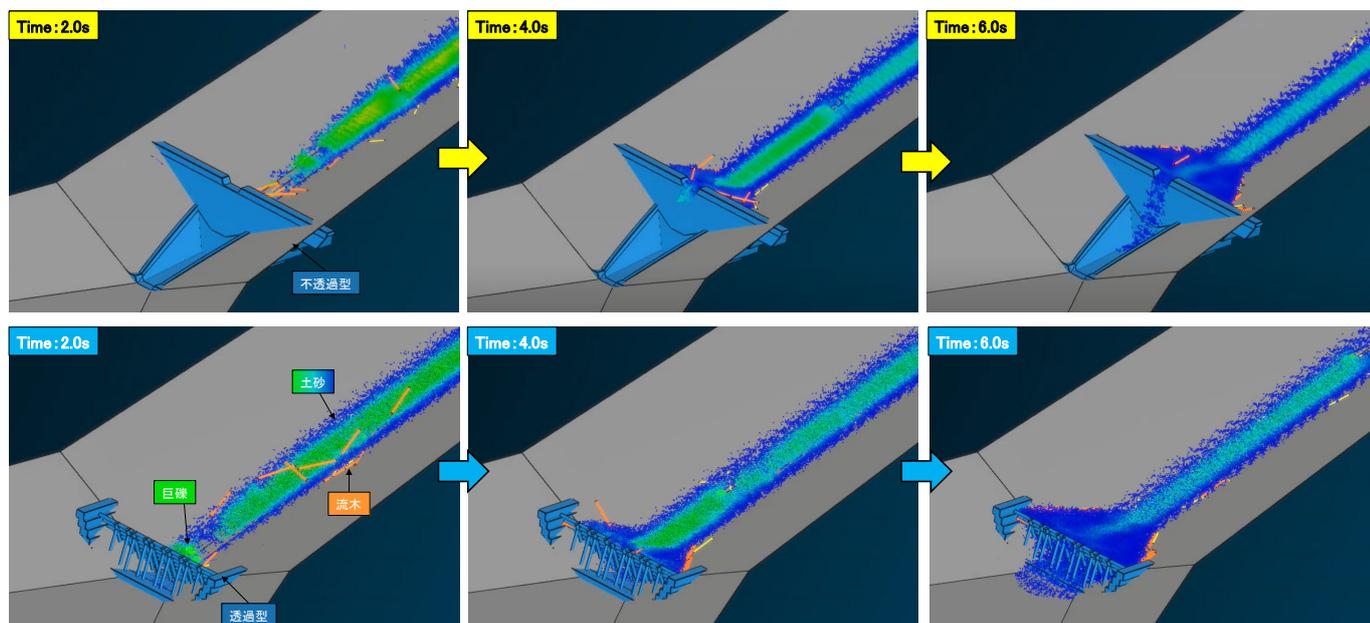


図3 格子ボルツマン法での3次元シミュレーション結果(上:不透過型, 下:透過型)